

AQUATIC: Erfassung und Beurteilung von aquatischen und terrestrischen Feuchtgebieten mit sehr hoch auflösenden FE-Daten

Thorsten ANDRESEN, Claudius MOTT, Thomas SCHNEIDER, Caroline ROGG, Arnulf MELZER

Kurzfassung

Diese Untersuchung befasst sich mit der Anwendung objektiver Bildanalyseverfahren. Ziel ist die Entwicklung übertragbarer und damit objektiv vergleichbarer Klassifikationen auf der Basis sehr hoch aufgelöster Fernerkundungsdaten.

Die Landoberfläche wird mit einer Kombination aus Satellitenbilddaten, im Bereich von 4 bis 1 Meter und Luftbildern mit einer Auflösung von bis zu 40 cm beobachtet. In diesem Maßstabsbereich (1:2 500 bis 1:10 000) können bereits naturschutzfachlich bedeutsame Objekte automatisiert klassifiziert werden.

Im Uferbereich des Starnberger Sees und der südlich anschließenden Osterseen werden mit dieser Methode zielgerichtet Feuchtgebiete, die weitere Landbedeckung, wie z. B. Grünland sowie Makrophyten innerhalb der Wasserfläche analysiert. Insbesondere die Schilf- und Hochmoorbereiche stehen im Vordergrund. Diese Methode kann vor allem zwischen schilfdominierten und eher spärlich mit Schilf besetzten Bereichen unterscheiden. Letzteres kann besonders in unmittelbarer Wassernähe auf geschädigte Schilfbestände hindeuten.

Mit der vorgestellten Methode lassen sich unterschiedliche Fernerkundungsdatentypen auf verschiedenen Maßstabsebenen vergleichbar auswerten. So werden mit einer Kombination aus historischen s/w-Luftbildern und sehr hoch auflösenden Satellitenbildern des IKONOS-Typs raumzeitliche Analysen der Entwicklung von Feuchtgebieten möglich.

1. Einleitung

Die aktuell verfügbaren Erdbeobachtungssatelliten der IKONOS-Generation liefern räumlich sehr hoch auflösende Bilddaten, vergleichbar mit der Qualität von Luftbildern. Darüber hinaus bieten sie zusätzliche spektrale Informationen, bis hinein in den nahen Infrarot-Bereich.

Auf der Basis wissenbasierter, objektorientierter Bildanalysemethoden mit dem Programm eCognition wurden im Rahmen des Projektes AQUATIC Verfahren zur automatisierten Klassifikation von Feuchtgebieten im ufernahen Bereich entwickelt. Es sollten Auswertemethoden für heterogene, sehr hoch auflösende Fernerkundungsdaten mit einer objektorientierten Bildanalysemethodik entwickelt werden. Diese Verfahren sollen in Verwaltungs- und Planungsbehörden auf Landesebene zum Einsatz kommen, um dort einen

aktuellen Kenntnisstand der Land- und Gewässerhältnisse zu gewährleisten und so bei Planungs- und Arbeitsabläufen die Entscheidungsfindung zu unterstützen. Ziel ist es, die vorhandene Datenbasis (IKONOS, Orthofotos, Hyperspektraldaten) kombiniert so auszuwerten, dass eine regelmäßige Analyse der Landoberflächen unterstützt wird.

2. Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet liegt ca. 40 km südlich von München im oberbayerischen Voralpengebiet. Es umfasst den Starnberger See inklusive der südlicher gelegenen Osterseen. Das Gebiet zählt zu den wichtigsten Naherholungsgebieten des Münchner Raums. Teile des Starnberger Sees und der größte Teil der Osterseen sind als Naturschutzgebiet ausgewiesen, viele der schützenswerten Bereiche sind ebenfalls als FFH-Gebiet gemeldet und der gesamte Raum steht unter dem Schutz der Ramsar-Konvention.

Die morphologische Entwicklung des Starnberger Sees wurde bislang kontrovers diskutiert. Die am häufigsten zitierte Theorie (MUNTHE zitiert in ROTHPLETZ 1917) besagt, dass der Starnberger See durch Glazialerosion des Isar-Loisach-Gletschers während der Würm-Eiszeit und durch subglaziale Schmelzwasserflüsse geschaffen wurde. Die Osterseen hingegen sind eine Kette von 19 Toteisseen, die während der Rückzugsphase des Isar-Loisach-Gletschers entstanden sind. Der Starnberger See wurde gegen Ende der letzten Eiszeit von seinem Hauptzufluss, der Loisach, abgeschnitten und besitzt dadurch, als einziger Voralpensee, wie die Osterseen keine direkten Zuflüsse aus dem Gebirge. Aus diesem Grund erfahren beide nur einen geringen Sedimenteintrag. Dieses stellt eine der wichtigsten Voraussetzungen für ihren Erhalt dar.

3. Stand der Forschung

Die Überwachung von Feuchtgebieten basierte bislang in erster Linie auf der visuellen Interpretation von Luftbildern (CIR oder Farbe) sowie auf Satellitendaten im mittel auflösenden Bereich. Multispektrale Sensoren wie Landsat TM oder der auf dem in-

dischen IRS-1A oder 1B fliegenden LISS II oder auch SPOT XS liefern Auflösungen bis 20 m. So können nur flächenmäßig sehr große Feuchtgebiete erkannt werden, da die minimale Kartiereinheit (MMU – minimum mapping unit) dieser Daten zwischen 0.09 ha und 0.04 ha liegt. Neuere hoch auflösende Satelliten haben bislang kaum Eingang in die Feuchtgebietsfernerkundung gefunden. Die Anwendung wissens- oder regelbasierter Klassifikationsverfahren hingegen schon. Beispielsweise klassifizieren LUNETTA und BALOGH (1999) ausgedehnte Feuchtgebiete in Maryland und Delaware anhand von Landsat TM5 Daten. Zum Einsatz kommt ein regelbasierter Ansatz, welcher mit Hilfe vorklassifizierter Bilder zunächst in einem GIS zwischen hydrischen und nichthydrischen Bereichen unterscheidet. Diese Information wird dann mit einer statistischen Landbedeckungsklassifikation kombiniert. Die Ergebnisse verbessern sich durch dieses Verfahren. Die Autoren erwarten eine weitere Verbesserung durch die Kombination multisaisonaler Aufnahmen. Houhoulis und Michener (2000) erkennen Veränderungen in Feuchtgebieten mit multispektralen SPOT XS Daten und kombinieren diese mit externen Kartierungen des amerikanischen **National Wetland Inventory (NWI)**. Durch diese Vorabgrenzung vermeiden sie ebenfalls eine spektrale Konfusion zwischen Feuchtgebieten, landwirtschaftlicher Nutzung und Wäldern. Es kommt hier eben falls ein regelbasierter Ansatz zum Einsatz. Multispektrale Daten des SPOT Satelliten werden von JENSEN et al. (1993) zur Veränderungsanalyse von Rohrkolben- und Teichrosenbeständen am Savannah River in South Carolina verwendet. Multisaisonale Daten werden hier für die Erkennung, vor allem der Schwimmblattvegetation eingesetzt und mit panchromatischen SPOT Daten kombiniert. SADER et al. (1995) weisen für Feuchtwälder nach, dass ein regelbasierter GIS-Ansatz die Klassifikationsqualität gegenüber rein statistischen Verfahren signifikant steigert.

4. Datenbasis

Die im folgenden dargestellten Ergebnisse stammen aus einer kombinierten Analyse von satellitengestützten IKONOS-Daten, hyperspektralen CASI-Daten und einer Orthofoto-Zeitreihe. Die Satellitenaufnahmen wurden April und August 2001 aufgenommen, die CASI-Aufnahmen Mitte September 1999 und die Orthofotos in den Jahren 1956, 1964, 1976, 1999 und 2000. Diese sehr hoch auflösenden Daten decken einen Bereich der räumlichen Auflösung von 4 m bis 40 cm ab. Die Daten sind aufeinander angepasst (georeferenziert) und liegen im Gauß-Krüger System (Zone 4) vor. Zusätzlich wurden bestehende Kartierungen, z.B. ATKIS und eine Biototypenkartierung in die Datenbasis integriert.

Die IKONOS Satellitendaten stehen im Mittelpunkt dieser Untersuchung. Sie wurden gewählt, weil sie die ersten kommerziell verfügbaren räumlich sehr hoch auflösenden Satellitendaten sind. Darüber hinaus bie-

ten sie einen Überblick über sehr große Gebiete (in dieser Untersuchung ca. 265 km²). Die Aufnahmegeometrie innerhalb einer Satellitenbildszene ist einheitlich. Bei flugzeuggetragenen Systemen unterscheidet sie sich von Aufnahme zu Aufnahme. Die multispektrale Information bis hinein ins nahe Infrarot ist notwendig für die erfolgreiche Vegetationskartierung. OZESMI und BAUER (2002) sehen als wesentliche Vorteile der Satellitenbilddauswertung den regelmäßigen Überflug zur gleichen Tageszeit (Monitoring), die sehr große räumliche Abdeckung und den erhöhten Informationsgewinn in Kombination mit Luftbildern.

Hyperspektrale Daten versprechen aufgrund ihrer sehr hohen Anzahl an Spektralkanälen (hier 20 ausgewählte von 48 aufgenommenen Kanälen) zusätzliche Information bei der Analyse von Vegetationsbedeckten Landoberflächen, bei sehr hoher räumlicher Auflösung.

In dieser Untersuchung wurde die Datenbasis um schwarz-weiß Luftbilder erweitert, da diese sehr weit in die Vergangenheit zurückreichen (zum Teil bis 1941) und heute regelmäßige Routinebefliegungen durchgeführt werden. Die Auswertung von Orthofoto- oder Luftbildzeitreihen ermöglicht genauere Analysen der Entwicklung einer Landschaft.

5. Methode

Klassische statistische Klassifikationsverfahren sind nicht mehr in der Lage, den hohen Informationsgehalt der hier verwendeten sehr hoch auflösenden Fernerkundungsdaten auszuwerten (vgl. SCHNEIDER et al. 2000). Deshalb wurde hier eine objektorientierte, wissensbasierte Bildanalysemethode angewendet.

Der Fokus der verwendeten Methode liegt auf der möglichst detaillierten Klassifikation ufernaher Feuchtgebiete, mit besonderer Berücksichtigung der Schilfgürtel und Hochmoorbereiche.

Ziel ist es Klassifikationsregelwerke zu entwickeln, die flexibel und leicht auf andere Daten übertragbar sind. Diese Regeln wurden so entwickelt, dass auch mit dieser heterogenen Datenbasis vergleichbare Klassifikationsergebnisse erzeugt werden.

Es wird zielgerichtet gearbeitet, d.h. dass Objekte die zu anderen Landbedeckungen, als Feuchtgebiete und Wasserflächen gehören in mehreren Schritten vorab ausmaskiert werden. Diese Objekte, wie z.B. Wald oder Siedlung werden an anderer Stelle im Projekt weiter bearbeitet (vgl. MOTT et al. in diesem Band). Für eine flächendeckende Darstellung oder auch für die gegenseitige Korrektur von Klassen werden die Ergebnisse von beiden Projektpartnern kombiniert. Aufgrund dieser zielgerichteten Strategie können Objekte leichter klassifiziert werden, da bereits im Voraus spektrale Verwechslungen vermieden werden.

Bei dieser Studie kommt das objektorientierte Bildanalyseprogramm eCognition zum Einsatz. Eine

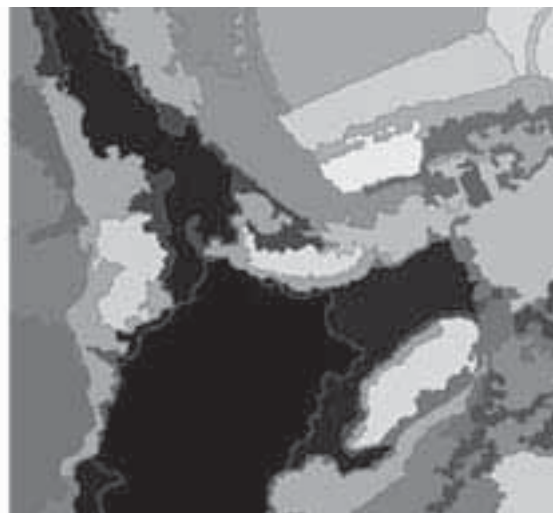


Abbildung 1

Objekte in eCognition. Links: Original IKONOS-Bild. Rechts: Segmentierte Objekte

Bildanalyse mit diesem Programm basiert auf zwei wesentlichen Schritten. Es wird eine Sequenz von Segmentierungs- und anschließenden Klassifikations-schritten abgearbeitet.

Die Segmentierung gruppiert die Bildpunkte eines Datensatzes in homogene Bildbereiche (Abbildung 1) auf unterschiedlichen Maßstabsebenen. Bei der Segmentierung wird gleichzeitig eine Datenbank mit Objektmerkmalen erzeugt. Die anschließende Klassifikation entspricht dann im Wesentlichen einer Datenbankabfrage (MOTT et al. 2002). Die in der Datenbank enthaltenen Objekteigenschaften werden aus der spektralen Information des Bilddatensatzes berechnet, es sind aber auch statistische Merkmale, Textur, Form- und Lageparameter sowie Nachbarschaftsbeziehungen enthalten. Ein weiterer Durchbruch von eCognition ist die Eigenschaft, bereits bei der Klassifikation externe Information, beispielsweise aus bestehenden Kartierungen zu integrieren.

Die wesentliche Unterscheidung zu bisherigen Klassifikationsverfahren ist, dass nun mit homogenen Bildobjekten (Objektprimitiven) gearbeitet wird, die in einem anschließenden Schritt zu aussagekräftigen Objekten zusammengefasst werden.

Objektdefinition/Klassenhierarchien

Aussagekräftige Objekte sind somit die wichtigste Voraussetzung für eine wissensbasierte Klassifikation von Fernerkundungsdaten. Die mit den geeigneten Verfahren segmentierten Regionen sind die Objekte oder zunächst, da noch unklassifiziert, die Objektprimitive eines Bildes. Es handelt sich um untereinander disjunkte Teilgebiete eines Bildes mit der Eigenschaft, dass jeder Bildpunkt einer Region mindestens einen Nachbarn hat, der derselben Region angehört (BÄHR und VÖGTLE 1998, S.128).

Die Frage was eigentlich ein Objekt ist, kann im Rahmen dieses Artikels nicht genau beantwortet werden, zumal hierbei auch philosophische Aspekte diskutiert werden müssten. Soweit es sich aber um den

Überschneidungsbereich GIS-Fernerkundung handelt, muss festgestellt werden, dass der Objektbegriff nicht immer übereinstimmt. Während es z.B. in einem GIS um reale oder abstrakte Objekte der Umwelt geht (BARTELME 2000, S.23), handelt es sich bei kartographischen Modellen eher um ein Darstellungsproblem. Bei der ALK sind Objekte fachliche Einheiten, die je nach Fachgebiet und Sichtweise unterschiedliche elementargeometrische Objekte kombinieren (SAURER und BEHR 1997, S.185). In der Fernerkundung hingegen ist dieser Begriff eher neu und die Prinzipien der Objektorientierung der Informatik werden nur zum Teil mit Vererbungs- und Gruppierungsstrategien umgesetzt. In eCognition kommt für die Klassifikation ein unscharfes „fuzzy“-Verfahren zum Einsatz. Hierbei können Objekte auch mehr als einer Klasse zugeordnet werden. In der Kartographie, bei ATKIS oder ALK beispielsweise wird mit einer strengen Abhängigkeit gearbeitet. Da hier Grenzen eindeutig sein müssen, gehören auch Objekte zu genau nur einer Klasse. In der Natur sind Objekte allerdings auch nicht immer eindeutig zu trennen, insbesondere wenn sie in Übergangszonen liegen. Besonders deutlich wird das, wenn mehrere Fachleute der gleichen Disziplin unabhängig voneinander ein Urteil fällen.

Die Entwicklung von Regelwerken für die Klassifikation der Fernerkundungsdaten erfordert die Definition einzelner Objekte der Realität auf Basis der bei der Segmentierung entstandenen Objekteigenschaften, die in der Objektdatenbank enthalten sind.

Dafür wird Expertenwissen, z. B. die menschliche Erfahrung eines Fernerkundungsspezialisten herangezogen aber auch bereits formalisiertes Wissen, z. B. aus Kartieranleitungen (BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (BFN) 1995) wird integriert. Die so gefundenen Parameter müssen auf ihre Eignung zur Trennung von Klassen überprüft werden. Beispielsweise kann eine Klassendefinition von Feuchtgebieten dann so aussehen:

Aus der Literatur (SADER et al. 1995, S.137) lassen sich folgende Eigenschaften ableiten. Feuchtgebiete sind:

- Dominiert von Hydrophyten,
- das Substrat ist wassergesättigt
- in der Nähe zu Wasserkörpern,
- haben eine geringe Hangneigung (<8%); sowie eine topographische Position in Mulden

Übertragen auf die verfügbaren Parameter in eCognition ist eine Definitionsmöglichkeit diese:

- Distanz zu Wasserobjekten
- NDVI
- spektraler Mittelwert blau
- spektraler Mittelwert rot
- spektraler Mittelwert NIR
- Grenze zu Feuchtgebieten oder Wasser
- DOM (Hangneigung)

Die Objektdefinition aus der Kartierung bzw. der Erfahrung, also die Überlegung, was ein Objekt wirklich ausmacht, kann nicht exakt in eCognition abgebildet werden. Die wesentliche Information in Fernerkundungsdaten ist die spektrale Reflexion in bestimmten Wellenlängenbereichen. Diese Tatsache spiegelt sich auch in den Objektdefinitionen des Regelwerks wider. In der obigen Feuchtgebietsdefinition wird überwiegend Information aus dem blauen-, roten- und nahen Infrarotbereich genutzt, zusammen mit daraus abgeleiteter Information wie einem Vegetationsindex (NDVI). Eine Stärke des objektorientierten Verfahrens kann hier direkt abgebildet werden, die Beziehung zu Nachbarobjekten über die Abfrage der Distanz zu Wasser. Durch die Möglichkeit externe Informationen direkt zu nutzen könnte hier beispielsweise ein digitales Oberflächenmodell (DOM) zusätzlich genutzt werden, um die Eigenschaft der Hangneigung im Regelwerk abzubilden.

Auf diese Weise sind im Projekt Regelwerke für die unterschiedlichen Daten erzeugt und miteinander abgeglichen worden, die folgende Klassen trennen können:

Tabelle 1

Auswahl der unterscheidbaren Klassen.

I = IKONOS, C = CASI, O = Orthofoto

Klasse	Datenbasis
Wasser	I, C, O
Tiefes Wasser	I, C, O
Flachwasser	I, C, O
Verbindungskanäle	I, C, O
Submerse Makrophyten	I
Schwimblattvegetation	I, O (nur 1956)
Boote	O
Schilf	I, C, O
Dichtes Schilf	I, C
Seggendominiert	I, C
Verbuschtes Feuchtgebiet	I, C, O

Moor	I, C, O
Offene Moorbereiche	I, C, O (als Hochmoor)
Verbuschte Moorbereiche	I
Entwässerungskanäle	I, C
Wald	I (externe Ebene)
Einzelgehölz	I, O
Siedlungsgrün	O
Lichtung	C
Lineare Gehölze	I, O
Siedlung/Verkehr	I, C, O
Siedlung	I, O *
Straßen	I, O *
Landwirtschaft	I, C ¹⁾
Wiese/Weide	I, C *
Acker	I, C *
Acker abgeerntet	I, C *

Regelwerke in eCognition wurden streng hierarchisch aufgebaut. Sie grenzen zunächst z.T. durch Vorklassifikation übergreifender Klassen, wie Feuchtgebiet sowie schrittweiser Ausscheidung von sicheren Klassen unwichtige Objekte ab. Anschließend werden nur noch die gesuchten Landbedeckungseinheiten detailliert klassifiziert (vgl. ANDRESEN et al. 2002, LÖSCHENBRAND et al. 2003).

6. Ergebnisse

Im Rahmen dieser Studie wurden verschiedene Testgebiete im Uferbereich des Starnberger Sees und an den Osterseen analysiert. Im Folgenden wird eine Auswahl von Ergebnissen anhand einiger Testgebiete präsentiert.

Vorklassifikation

In einem Vorklassifikationsschritt werden auf einer groben Segmentierungsebene in den IKONOS-Daten übergreifende Landbedeckungsklassen unterschieden. Auf dieser Ebene existieren große Objekte, die zunächst Landbedeckungseinheiten zusammenfassen, die sich spektral eindeutiger unterscheiden lassen. Entsprechend der in Tabelle 1 aufgeführten Klassen werden hier Feuchtgebiete, Wälder, Grünland, Acker und Wasserflächen klassifiziert. Die Vorgehensweise für Orthofotos oder auch CASI-Daten unterscheidet sich hiervon in dem Sinne, dass hier streng hierarchisch auf mehreren Ebenen diese groben Landbedeckungsklassen getrennt werden. Schließlich werden in der gesamten Datenbasis aber die gleichen Klassen abgegrenzt.

Die Genauigkeit der mit den IKONOS-Daten klassifizierten Einheiten liegt nach der Korrektur mit einem externen Waldlayer für potentielle Feuchtgebiete bei 95,81 % Produzenten- und 82,09 % Benutzergenauigkeit. Potentielle Moorbereiche lassen sich auf dieser Maßstabsebene mit einer Genauigkeit von 95,22 % bzw. 80,37 % (Produzenten- und Benutzergenauigkeit) klassifizieren. Grünland wird abgeleitet, um spektrale

¹⁾ Diese Klassen wurden bei den CASI-Daten bzw. Orthofotos nicht bearbeitet und sind deshalb nicht in der Tabelle enthalten.



Abbildung 2
Hochmoorbereiche mit Verbuschungstendenzen östlich der Osterseen. IKONOS
 August 2001

Überschneidungen mit Feuchtgebieten zu minimieren und erreicht eine Genauigkeit von 98,43% (Produzentengenauigkeit) bzw. 94,80% (Benutzergenauigkeit).

Die Analysen der Klassifikationsqualität wurden auf Basis von Testflächen durchgeführt. Die Testflächen wurden durch Kartierung, Luftbilder und Geländekampagnen verifiziert.

Verbuschung in Moorbereichen

Ein Ziel war die Klassifikation der Landoberfläche in einer höheren Detailgenauigkeit. Im Bereich der Osterseen fallen in den Fernerkundungsdaten sehr schnell die vorklassifizierten potentiellen Hochmoorbereiche des Weid- und des Schechenfilzes (Abbildung 2) östlich der Osterseen auf. Diese lassen sich mit der im Projekt *AQUATIC* entwickelten Methode von den sonstigen Feuchtgebieten unterscheiden. Darüber hinaus wird innerhalb dieser Bereiche zwischen verbuschten Flächen und offenen Hochmoorflächen unterschieden.

Die Genauigkeitsanalyse auf Basis einer Fehlermatrix zeigt für die offenen Moorbereiche im August Werte von 93,25% (Produzentengenauigkeit) und 97,01% (Benutzergenauigkeit). Aufgrund von Überschneidungen mit bewaldeten Bereiche kann die Klasse der verbuschten Bereiche (moor, shrub encroachment) nicht in diese Genauigkeitsbereiche vordringen, liegt aber mit 92,19% bzw. 73,70% (Produzenten- bzw. Benutzergenauigkeit) in einem sehr guten Bereich. Es zeigt, dass Objekte der Referenz zum größten Teil richtig klassifiziert wurden (Produzentengenauigkeit), aber darüber hinaus zu viele Objekte ebenfalls als verbuscht klassifiziert wurden (Benutzergenauigkeit), die laut Referenz zu einer anderen Klasse gehören.

Die Feuchtgebiete sowie die Moorbereiche wurden vorher mit einer Waldklassifikation (vgl. MOTT et al. in diesem Band) verschnitten und die Klassen gegenseitig korrigiert. In Überschneidungsbereichen

kann dennoch nicht eindeutig zwischen Wald und verbuschtem Hochmoorkomplex unterschieden werden. Visuelle Fernerkundungsinformationen stammen von der Oberfläche und können nicht durch z.B. Baumkronen hindurchsehen. Deshalb wird der Waldklassifikation Vorrang eingeräumt. Wälder werden hier mit einer Genauigkeit von 97,76% (Produzentengenauigkeit) bzw. 100% (Benutzergenauigkeit) klassifiziert werden.

Verbuschungsentwicklung aus Orthofotos

Die Entwicklung der Verbuschung innerhalb der Moorbereiche kann mit Hilfe der Analyse der vorliegenden Orthofotozeitreihen nachvollzogen werden. Am nördlichen Rand des Weidfilzes, westlich der Osterseen wird über drei Zeitpunkte (1964, 1976 und 1999) die Entwicklung des Baum- und Buschbestandes am Hochmoorrand aufgezeigt. Hiermit können Verbuschungstendenzen erfasst und analysiert werden. Bei einer quantitativen Analyse hat ROGG (2003) nachgewiesen, dass es einen reinen Zuwachs an baumbestanden Flächen von 19 ha gab, was über die 35 Jahre von 1964 bis 1999 eine Zunahme 25% ergibt (Abbildung 3).

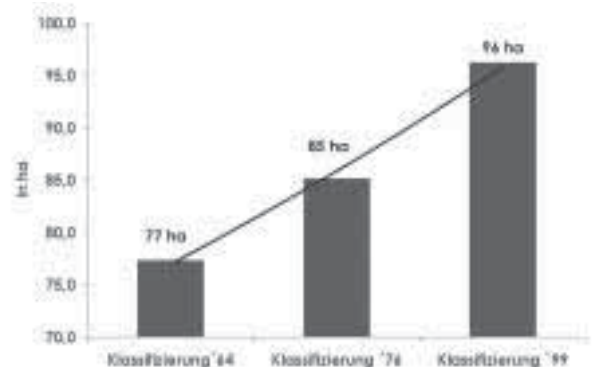


Abbildung 4
Anstieg des Waldanteils am Nordende des Weidfilzes.
 Analyse anhand einer Orthofotozeitreihe

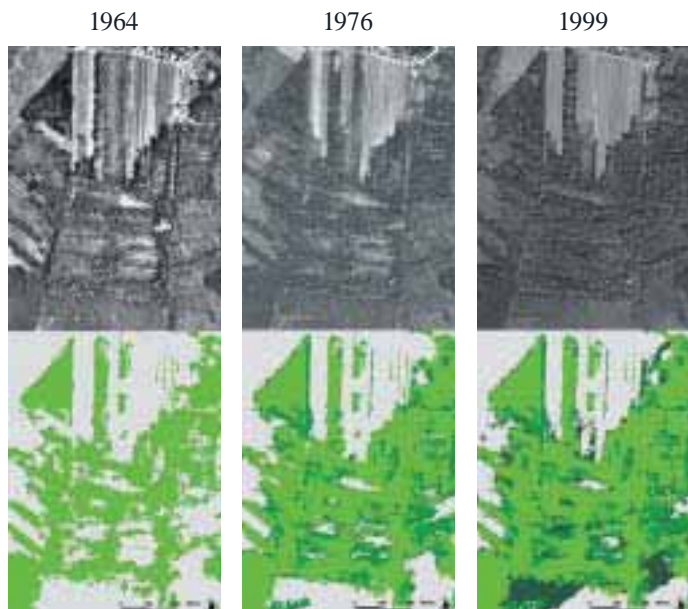


Abbildung 4

Verbuschungsentwicklung am Nordrand des Weidfilzes. Oben: Orthofotos. Unten: Klassifikation der einzelnen Jahre (verändert nach ROGG et al. 2003)

Abbildung 4 zeigt, dass 1999 die verbuchten Bereiche des Hochmoores (unten rechts, dunkelgrün) erfasst und hier der Waldfläche zugeordnet werden. Aufgrund der geringen Grauwertinformation von Orthofotos sind Fehlklassifikationen nicht vollständig zu vermeiden. Ebenso fällt die unterschiedliche Qualität der Aufnahmen aus den verschiedenen Jahren auf. Diese Unterschiede sind zwar in den Regelwerken weitestgehend berücksichtigt, erschweren aber dennoch die einheitliche Klassifikation. Im jeweils oberen Bereich der Abbildungen sind teilweise Feldbereiche als Wald klassifiziert (vor allem 1976).

In einer Nachbearbeitung durch einen Experten, im Abgleich mit Kartierungen oder Klassifikationen auf Basis anderer FE-Daten lassen sich solche Unzulänglichkeiten aber sehr schnell erkennen und beseitigen.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Die hier in Auszügen präsentierte Studie zeigt, dass sehr hoch auflösende Fernerkundungsdaten sehr viele Informationen in einem Maßstabbereich bereitstellen, der für die lokale Anwendung gefordert ist. Im Rahmen aktueller Richtlinien, wie der FFH-, der Wasserrahmenrichtlinie oder auch der Ramsar-Konvention sind Überwachungsmaßnahmen gefordert, die der Gesetzgeber und die Behörden für die lokale Ebene umsetzen müssen.

Die Auswertung sehr hoch auflösender FE-Daten mit einem objektorientierten, wissensbasierten Ansatz führt zu einer sehr hohen Klassifikationsqualität. Die entwickelten Regelwerke zeichnen sich durch die Stabilität der Klassifikationsergebnisse bei einer vergleichsweise einfachen Übertragbarkeit aus. Dennoch können diese Auswertungen nur ein Werkzeug für den Experten sein, das seine Arbeit unterstützt. Eine Kombination von Expertenwissen, mit bestehender Geoinformation (wie Kartierungen oder den gezeigten Orthofotozeitreihen) sowie der wissensbasierten

Auswertung von Fernerkundungsdaten, welche in einem GIS weitergeführt werden kann ist notwendig. Nur in dieses Zusammenspiel ermöglicht die schnelle, exakte und möglichst kostengünstige Überwachung schützenswerter Lebensräume. Die Werkzeuge für so ein Expertensystem sind vorhanden, die Umsetzung erfordert aber nach wie vor einige Anstrengungen von allen Seiten.

8. Danksagung

Diese Studie ist im Rahmen des Projektes *AQUATIC* entstanden, welches durch das BMBF gefördert wird. Projekt-nummer: 50 EE 0040 & 50 EE 0041. Vielen Dank auch an die Diplomanden Caroline Rogg und Florian Löschenbrand.

9. Literatur

- ANDRESEN, T.; C. MOTT, S. ZIMMERMANN, T. SCHNEIDER & A. MELZER (2002): Objectoriented information extraction for the monitoring of sensitive aquatic environments. IGARSS, Toronto.
- BÄHR, H.-P. & T. VÖGTLE (1998): Digitale Bildverarbeitung. Anwendung in Photogrammetrie, Kartographie und Fernerkundung. 3. Auflage, Heidelberg.
- BARTELME, N. (2000): Geoinformatik. Modelle, Strukturen, Funktionen. 3. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Hongkong, London, Mailand, Paris, Singapur, Tokio.
- BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (BFN) (1995): Systematik der Biotoptypen- und Nutzungstypenkartierung (Kartieranleitung). Bonn-Bad Godesberg.
- HOUHOULIS, P. F. & W. K. MICHENER (2000): Detecting wetland change: A rule-based approach using NWI and SPOT-XS data. Photo-grammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.66, 2, S.205-211.
- JENSEN, J. R.; S. NARUMALANI, O. WEATHER-BEE & H. E. MACKEY (1993): Measurement of Seasonal and Yearly Cattail and Waterlily Changes Using Multidate Spot Panchromatic Data. Photo-grammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.59, 4, S.519-525.

- LÖSCHENBRAND, F.; C. MOTT, T. ANDRESEN, S. ZIMMERMANN, T. SCHNEIDER & U. KIAS (2003):
Objektorientierte Klassifikation hyperspektraler CASI-Daten zur Ableitung naturschutzfachlich relevanter Landbedeckungs-Parameter. *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung (AGIT)*, Salzburg, XV, S.268-273.
- LUNETTA, R. S. & M. E. BALOGH (1999):
Application of multitemporal Landsat 5 TM imagery for wetland identification. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol.65, 11, S.1303-1310.
- MOTT, C.; T. ANDRESEN, C. ROGG, T. SCHNEIDER, S. ZIMMERMANN, & U. AMMER (unveröff.):
Identifizierung und Monitoring von Landnutzungs-/Landoberflächen-Typen in einem multitemporalen/multisensoralen Ansatz. ANL Fachtagung: Erfassung und Beurteilung von Seen und deren Einzugsgebiet mit Methoden der Fernerkundung, Laufen, .
- MOTT, C.; T. ANDRESEN, S. ZIMMERMANN, T. SCHNEIDER & U. AMMER (2002):
„Selective“ region growing – an approach based on object-oriented classification routines. *IGARSS*, Toronto, .
- OZESMI, S. L. & M. E. BAUER (2002):
Satellite remote sensing of wetlands. *Wetlands Ecology and Management*, Vol.10, S.381-402.
- ROGG, C.; S. ZIMMERMANN, T. SCHNEIDER, T. ANDRESEN, C. MOTT & U. KIAS (2003):
Monitoring von naturschutzrelevanten Flächen mit Hilfe objektorientierter Bildanalyse anhand S-W-Luftbilder im Naturschutzgebiet Osterseen. *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung (AGIT)*, Salzburg, XV, S.381-386.
- ROTHPLETZ, A. (1917):
Die Osterseen und der Isar-Vorlandgletscher. München.
- SADER, S. A. D. AHL & W. S. LIOU (1995):
Accuracy of Landsat-TM and Gis Rule-Based Methods for Forest Wetland Classification in Maine. *Remote Sensing of Environment*, Vol.53, 3, S.133-144.
- SAURER, H. & F.-J. BEHR (1997):
Geographische Informationssysteme. Eine Einführung. Darmstadt.
- SCHNEIDER, T.; R. DE KOK, A. BUCK & I. MANAKOS (2000):
Objektorientierte Bildanalyse – Paradigmawechsel in der thematischen Auswertung von Erdbeobachtungsdaten? In: Lehrstuhl für Landnutzungsplanung und Naturschutz (2000): *Landnutzungsplanung und Naturschutz. Aktuelle Forschungsberichte. Festschrift zur Emeritierung von Professor Dr. Ulrich Ammer*. Freising, S.234-258.

Anschrift der Verfasser:

Thorsten Andresen,
Thomas Schneider
und Prof.Dr. Arnulf Melzer
Limnologische Station der TUM
Hofmark 3
82393 Iffeldorf

Zum Titelbild: Das Bild zeigt ein Anwendungsbeispiel zur Kartierung von submersen Makrophyten im Flachwasserbereich um die Insel Reichenau (Bodensee). Vergleich der Prozessierungsergebnisse von DAEDALUS- Aufnahmen im Juli 2001 und 2002.

Spezielle MIP-Module korrigieren in dieser Anwendung den Einfluss der Wassersäule auf das Reflexionssignal, ermöglichen die Berechnung der Reflexionseigenschaften des Seegrundes und interpretieren diese Spektren dann als Mischsignal aus verschiedenen Sediment- oder Bewuchsklassen. Im Ergebnisbild werden Klassen von bodennahen Makrophyten (*Characeen*) in der Farbe grün, von hoch wachsenden Makrophyten (hier: hauptsächlich *Potamogeton perfoliatus* & *pectinatus*) in rot und unbedeckte Seegrund-Sedimente in blau dargestellt (siehe Beitrag HEEGE et al. S. 67-71).

Laufener Seminarbeiträge 2/03

Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

ISSN 0175 - 0852

ISBN 3-931175-71-5

Die Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege ist eine dem Geschäftsbereich des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz angehörende Einrichtung.

Die mit dem Verfasseramen gekennzeichneten Beiträge geben nicht in jedem Fall die Meinung der Herausgeber wieder. Die Verfasser sind verantwortlich für die Richtigkeit der in ihren Beiträgen mitgeteilten Tatbestände.

Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen einzelnen Beiträge sind urheberrechtlich geschützt. jede Verwendung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der AutorInnen oder der Herausgeber ist unzulässig.

Schriftleitung und Redaktion: Dr. Notker Mallach (ANL, Ref. 12) in Zusammenarbeit mit Dr. Elisabeth Obermaier

Satz: Fa. Hans Bleicher, Laufen

Druck und Bindung: E. Grauer Offsetdruck, Laufen

Druck auf Recyclingpapier (100% Altpapier)